원문 출처: Journal of Vestibular Research 31 (2021) 327–344
DOI: 10.3233/VES-200005

멀미: 진단기준

바라니학회 전정질환분류위원회 합의문

Motion sickness diagnostic criteria: Consensus document of the Classification Committee of the Bárány Society

Yoon-Hee Cha[a,1,*], John F. Golding[b,1], Behrang Keshavarz[c,d,1], Joseph Furman[e], Ji-Soo Kim[f], Jose A. Lopez-Escamez[g,h,i], Måns Magnusson[j], Bill J. Yates[k], Ben D. Lawson[l,1], Advisors: Jeffrey P. Staab[m] and Alexandre Bisdorff[n]

[a]*Department of Neurology, University of Minnesota, Minneapolis, MN, USA*
[b]*Psychology, School for Social Sciences, University of Westminster, London, UK*
[c]*Toronto Rehabilitation Institute–University Health Network, Toronto, ON, Canada*
[d]*Department of Psychology, Ryerson University, Toronto, ON, Canada*
[e]*Department of Otolaryngology, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, USA*
[f]*Department of Neurology Seoul National University, Seoul, Republic of Korea*
[g]*Department of Surgery, Division of Otolaryngology, Universidad de Granada, Granada, Spain*
[h]*Otology and Neurotology Group CTS495, Department of Genomic Medicine, Centre for Genomics and Oncology Research–Pfizer/Univ. de Granada/Junta de Andalucía (GENyO), PTS, Granada, Spain*
[i]*Department of Otolaryngology, Instituto de Investigación Biosanitaria ibs. GRANADA Hospital Universitario Virgen de las Nieves, Granada, Spain*
[j]*Department of Otorhinolaryngology, Lund University, Lund, Sweden*
[k]*Department of Otolaryngology, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, USA*
[l]*Naval Submarine Medical Research Laboratory, Naval Submarine Base New London, Groton, CT, USA*
[m]*Department of Psychiatry and Psychology, Mayo Clinic, Rochester, MN, USA*
[n]*Department of Neurology, Centre Hospitalier Emile Mayrisch, Esch-sur-Alzette, Luxembourg*

초 록

본 문서는 국제전정질환분류(International Classification of Vestibular Disorders)에 포함될 멀미(motion sickness), 시각유발멀미(visually induced motion sickness), 멀미장애(motion sickness disorder) 및 시각유발멀미장애(visually induced motion sickness disorder)의 진단기준을 제시한다. 멀미와 시각유발멀미는 거의 모든 사람에게 유발될 수 있는 정상적인 생리적 반응이다. 그러나 반응의 감수성과 중증도가 높은 일부의 경우에는 장애로 간주될 수 있다. 본 보고서는 신체 움직임 또는 시각 움직임에 의해 유발되는 징후와 증상을 평가하고, 그 반응이 장애 수준에 이를 정도로 충분히 중증인지 판단하기 위한 지침을 제공한다.

멀미 및 시각유발멀미의 진단기준에는 신체 움직임 또는 시각 움직임에 노출되는 동안 유발되는 이상 반응이 포함된다. 이러한 반응은 다음 영역 중 하나 이상에서 최소 수준을 초과하는 중증도의 관찰 가능한 징후 또는 증상으로 나타난다: 오심 또는 위장관 이상, 체온조절 이상, 각성 상태 변화, 어지럼 또는 현훈, 두통 또는 안구 피로. 이러한 징후 또는 증상은 움직임 노출 중 발생하고, 노출이 지속됨에 따라 점차 심해지며, 움직임이 종료된 이후에는 결국 소실된다. 멀미장애와 시각유발멀미장애는 멀미 또는 시각유발멀미가 동일하거나 유사한 자극에 의해 반복적으로 일관성 있게 유발되고, 반복 노출에도 중증도가 유의하게 감소하지 않으며, 그 징후 및 또는 증상으로 인해 활동 조절, 자극 회피 행동, 또는 부정적 예기 정서가 나타나는 경우 진단한다.

멀미/멀미장애와 시각유발멀미/시각유발멀미장애는 각각 독립적으로 또는 함께 발생할 수 있다. 신체적 움직임 또는 시각적 움직임 자극에 대한 증상의 중증도는 개인 간에 매우 다양하며, 노화, 적응, 동반 질환 등에 따라 개인 내에서도 변화할 수

있다. 본 문서는 멀미 증상을 측정하는 주요 방법, 멀미 및 시각유발멀미를 유발하기 쉬운 상황, 그리고 감수성을 증가시키는 개인 특성에 대해 논의한다. 이러한 추가 고려 사항은 멀미장애 및 시각유발멀미장애와 관련된 상황적·개인적 요인을 정확히 측정하고 이해하도록 하여 진단의 정확성을 높이는 데 도움이 될 것이다.

1. 서론

바라니학회 전정질환분류위원회(Classification Committee of the Bárány Society)는 멀미(motion sickness)와 시각유발멀미(visually induced motion sickness)에 대한 표준화된 국제임상진단기준을 수립하고, 이러한 상태가 언제 장애(disorder)에 해당하는지 정의하는 역할을 맡았다. 이 기준은 일반 대중뿐 아니라 멀미 또는 시각유발멀미에 감수성이 높은 개인을 진료하는 다양한 분야에서 공통으로 사용할 수 있는 기준을 마련하기 위해, 국제 전정전문가, 과학자 및 치료사들에 의해 개발되었다. 멀미와 시각유발멀미는 흔한 현상이지만, 사람의 신체 움직임이나 시각 움직임에 의해 유발되는 증상은 건강한 사람에서도 부정적 영향을 미칠 수 있으며, 높은 수준의 집중이 필요한 상황에서는 안전성을 저하시킬 수 있다. 본 진단기준은 멀미와 시각유발멀미가 정상적인 생리반응이지만, 증상이 심할 경우 심각한 부정적 영향을 미칠 수 있으며, 때로는 하나의 장애(disorder)로 간주될 수 있음을 공식적으로 인정하고 있다.

1.1. 역사

움직임에 의해 유발되는 질환에 대한 기록은 기원전 400년까지 거슬러 올라가며, 교통수단의 발달과 함께 관련 언급도 증가하였다. 고대 그리스 문헌에는 항해 중 발생하는 오심, 구토, 실신감(faintness), 집중력 저하, 의욕 감소 등의 멀미 증상이 기술되어 있으며, 이러한 증상은 오늘날에도 여전히 유효한 것으로 인정된다[1]. 이러한 반응을 설명하기 위한 이론은 초기의 비과학적 설명에서 출발하여, 수 세기를 거쳐 내이의 과도한 자극이나 다감각 통합 장애와 관련된 기전으로 발전해 왔다[1-3]. 전정기관이 멀미에 관여한다는 사실은 오래전부터 알려져 있으며[4], 전정기능이 없는 사람은 극심한 해상 환경에서도 멀미를 경험하지 않는 것으로 보고되었다[5]. 멀미의 기전, 치료 및 예방에 대한 현대적 관심은 20세기 초 대규모 병력 수송과 함께 증가하였고, 1960년대 우주여행의 시작은 관련 연구를 더욱 촉진하여 현재 사용되는 평가 도구와 대응 전략의 개발로 이어졌다[6].

신체적 움직임이 없는 상황에서도 시각자극에 의해 발생하는 멀미는 최근 더욱 주목받고 있다[7, 8]. 시각유발멀미의 증상은 19세기의 '유령 그네(haunted swing)' 놀이기구에서 이미 보고된 바 있으며, 이후 시각재배열(visual rearrangement)에 대한 적응 과정과 정상 시각으로의 재적응 과정에서도 문서화되었다[9-11]. 초기 보고에서는 어지럼, 오심, 현훈 등의 증상이 기술되었고, 이는 현재 널리 사용되는 시뮬레이터 멀미 상태 설문지에도 포함되어 있다[12]. 시각유발멀미에 대한 현대적 연구는 1950년대 실험실 및 군사 환경에서 시작되었으며, 시운동 자극과 비행 시뮬레이터가 오심, 어지럼, 현훈 또는 방향감각 상실, 시야흐림, 두통, 졸림 등의 증상을 유발하는 것으로 확인되었다[13-17]. 최근 서라운드 극장, 차량 시뮬레이터, 가상현실, 증강현실 등 시각 디스플레이 기술의 활용이 증가함에 따라, 시각유발멀미의 발생도 점차 흔해지고 있다.

1.2. 이론

멀미와 시각유발멀미는 특정 자극과 개인의 감수성 간 상호작용으로 발생하는 다증상증후군이다. 이에 대해 단일하고 보편적으로 합의된 이론은 없으나, 진화적 기원과 병인에 관한 다양한 가설이 제시되어 왔다[6, 7, 17-21].

가장 널리 인용되는 설명은 **감각 불일치(sensory conflict) 또는 신경 불일치(neural mismatch) 가설**로, 시각·전정·체성감각 입력 간의 예상과 실제 사이의 불일치가 멀미를 유발한다고 본다[6, 18]. 이러한 불일치는 감각 간 부조화뿐 아니라, 전정계 내 불일치(반고리관-이석기관), 현재 감

[1] Except for the first three authors and the last author, all authors are listed alphabetically.

각 입력과 과거 경험에 기반한 내부 보정 간의 불일치, 그리고 지각된 중력 직립과 실제 중력 방향 간의 차이 등 다양한 수준에서 발생할 수 있다[19-22]. 또한 멀미는 신경계가 적응할 수 없거나 적응할 만한 충분한 시간을 갖지 못한 물리적 또는 가상의 움직임에 의해 전정-자율신경 경로가 비정상적으로 활성화되어 나타난다는 가설도 제시되어 있다[23, 24]. 이러한 이론들은 공통적으로 반복 노출을 통해 내부 모형이 재보정되면 증상이 감소할 수 있음을 시사한다.

멀미의 *독소가설(toxin hypothesis)*은 감각 불일치 이론의 변형으로, 특정 자극에서 멀미 반응이 즉각적으로 발생하는 원인보다는 오심과 구토 같은 멀미의 특징적 증상이 진화적으로 어디에서 비롯되었는지를 설명하려는 가설이다[25]. 이 가설은 움직임으로 유발된 구토가 감각 입력 왜곡과 흔히 연관되는 다양한 독소의 신경학적 영향에 대응하기 위한 고대의 진화적 보호 반응이 현대의 교통수단과 관련하여 우연히 나타난 부산물이라고 본다. 즉 현대의 움직임 자극이 감각 통합 교란과 신경학적 영향을 만들어 내며, 이는 상한 고기, 독성 식물, 동물 독 또는 발효 과일과 같은 중독성 물질에 의한 고대의 중독 반응과 유사하다는 것이다. 멀미 감수성이 높은 개인이 항암치료나 실제 독소 노출 등 다른 원인으로도 오심·구토를 더 잘 경험한다는 관찰은, 서로 다른 기전이 구토 경로를 유발하는 데 공통된 취약성이 있음을 뒷받침한다[26]. 그러나 독소 가설의 여러 핵심 전제는 이후 연구에서 수정·비판되어 왔다.

*직접 진화 가설(direct evolutionary hypothesis)*은 고대에도 물리적 또는 가상의 움직임이 존재했으며, 현대 교통수단의 신경학적 영향을 통해 우연히 발생한 독소 반응을 차용할 필요 없이, 자체가 혐오 반응의 진화에 직접적으로 기여했을 가능성을 제시한다[17]. 그럼에도 불구하고 *직접 독성 반응 가설(direct poisoning hypothesis)*은 특정 고대 움직임에 대한 혐오 반응의 직접적인 진화 과정 동안 나타난 특징적인 멀미 증상들의 일부를 신체의 독소 반응 체계가 형성했다고 가정한다[17].

한편, 멀미는 별도의 적응적 이점 없이, 전정 신호와 오심·구토를 매개하는 신경 경로가 해부학적으로 인접해 있다는 특성에서 비롯된 부산물일 가능성도 제기되어 왔다[27, 28].

2. 접근 방법

2.1. 위원회 구성

바라니학회 전정질환분류위원회(Classification Committee of the Bárány Society)는 2017년 3월 독일 베를린에서 열린 회의에서 국제전정질환분류(International Classification of Vestibular Disorders, 이하 ICVD)에 포함될 멀미 진단기준 개발을 위한 소위원회 구성을 제안하였다. 위원회는 위원 선정을 위해 위원장(Chairperson, Y.H.C.)을 지명하였으며, 위원장은 다양한 세부 분야와 세 개 대륙을 대표하는 위원들을 선정하였다. 소위원회는 전자우편과 대면 회의를 통해 논의를 진행하였다. 분류위원회는 2018년 6월 스웨덴 웁살라에서 열린 제30차 바라니학회 학술대회 이전과, 2019년 11월 독일 베를린에서 추가 회의를 개최하여 진행 상황을 검토하였다. 진단기준은 소위원회 내부 논의를 통해 개발되었으며, 2019년 11월 바라니학회 분류위원회에 제출된 초안은 의견을 반영하여 수정되었다. 이후 수정안은 2020년 1월 학회 회원들에게 공개되어 추가 의견을 수렴하였고, 이를 반영한 뒤 최종적으로 출판되었다.

2.2. 진단기준을 위한 증상 선정

본 보고서의 진단기준은 멀미 증상의 범주화와 신뢰도·타당도가 검증된 평가 도구 개발에 기여해 온 기존 연구를 바탕으로 마련되었다. 멀미 및 시각유발멀미 증상의 범주화는, 구토 이전 단계의 증상을 포함하려는 군사 및 우주 탐사 분야의 필요에서 출발하였다. 구토는 객관적 지표이지만 대개 후기 징후에 해당하므로, 중증도 변화를 평가하는 데에는 한계가 있다. 이에 따라 초기 증상을 규명하려는 시도가 이루어졌으며, 이는 중증도 스펙트럼을 확장하고 적절한 중재 시점을 판단하는 데 기여하였다. 1940년대에는 구토 외 주요 증상(예: 식은땀, 창백)에 대한 합의가 형성되었고, 1960년대에는 다양한 증상을 포함한 진단 체크리스트가 개발되었다[29-31].

멀미 상태를 다증상 방식으로 평가하기 위해 널리 사용된 주요 설문 도구는 다음과 같다.

1. 시뮬레이터멀미설문지/멀미설문지(Simulator Sickness Questionnaire/Motion Sickness Questionnaire, 이하 SSQ/MSQ)[12]
2. 펜서콜라진단지수(Pensacola Diagnostic Index, 이하 PDI)[31, 32]
3. 멀미평가설문지(Motion Sickness Assessment Questionnaire, 이하 MSAQ)[33]

전체 28개 항목으로 구성된 MSQ와 시뮬레이터 멀미에 초점을 맞춘 16개 항목으로 구성된 SSQ부분은 가장 널리 인용되었으며, 다른 멀미 평가 척도 (예: MSAQ[33], Misery Scale[34]) 개발의 기반이 되었다. 보다 관리하기 쉽고 기억하기 편한 기준을 만들기 위해 SSQ/MSQ와 PDI의 주요 항목들을 범주화 하였다. 기존 분류에서 공통적으로 합의된 증상들을 상호 참조하여 아래에 나열된 멀미/시각유도 멀미 기준을 도출하였다 (표 1-3 참조).

3. 진단기준

3.1. 멀미 및 시각유발멀미

멀미는 증상을 유발하는 자극이 신체의 물리적 움직임일 경우 진단하며, 시각유발멀미는 자극이 시각적 움직임일 경우 진단한다. 멀미 또는 시각유발멀미의 급성 삽화는 신체의 물리적 움직임 또는 시각적 움직임에 의해 유발된 멀미 증상으로, 기준 A-D를 충족할 때 진단한다.

A. 다음 범주 중 최소 하나 이상에서, 최소 수준을 초과하는 중증도의 징후 또는 증상이 신체적 움직임[1] 또는 시각적 움직임[2]에 의해 유발된다.
   1. 오심 또는 위장관 이상[3]
   2. 체온조절 이상[4]
   3. 각성 상태의 변화[5]
   4. 어지럼 또는 현훈[6]
   5. 두통 또는 안구 피로[7]

B. 징후 또는 증상은 움직임 노출 중에 발생하며, 노출이 지속됨에 따라 점차 심해진다[8].

C. 징후 또는 증상은 움직임이 종료된 이후 결국 소실된다[9].

D. 해당 징후 또는 증상은 다른 질환이나 장애로 더 잘 설명되지 않음[10].

추가설명:

*오심 또는 위장관 이상*에는 메스꺼운 느낌(feeling of sickness), 실제 구토, 구역질(retching), 상복부 또는 위부의 불편감/자각(stomach awareness), 타액 분비 변화 또는 식욕 변화, 트림, 배변 욕구 등이 포함될 수 있다. *체온조절 이상*에는 발한 또는 식은땀, 축축함(clamminess), 홍조(flushing), 열감(warmth), 창백(pallor)이 포함될 수 있다. *각성 상태의 변화*에는 졸림, 피로, 권태감, 집중력 저하 등이 포함될 수 있다. 어지럼 또는 현훈에는 방향감각 상실(disorientation), 실신감(faintness), 시각적 움직임 착시(visual motion illusions) 등이 포함될 수 있다. *두통 또는 안구 피로*에는 두통, 머리의 압박감 또는 충만감(head fullness), 안구 피로(eyestrain), 초점 맞추기 어려움(difficulty focusing), 시야흐림(blurred vision) 등이 포함될 수 있으며, 시야흐림은 현훈과 동반되어 나타날 수 있다. 일반적으로 더 많은 징후 또는 증상이 함께 존재할수록, 해당 증상이 멀미로 인한 것일 가능성의 특이도는 높아진다.

주석:

1. 다양한 형태의 신체적 움직임 자극은 멀미를 유발할 수 있다. 감수성이 높은 개인은 여러 유형의 움직임 자극에 대해 전반적으로 취약한 경향을 보이지만, 한 특정 자극에 대한 감수성이 다른 유형의 자극에 대한 감수성과 반드시 일치하는 것은 아니다. 멀미를 유발할 수 있는 움직임 자극의 예는 다음과 같다.
   a. 수상 교통 수단: 선박, 보트, 뗏목, 잠수함, 수면에 떠 있기, 스노클링(snorkeling), 스쿠버 다이빙
   b. 항공 교통 수단: 비행기, 헬리콥터, 행글라이딩, 패러세일링(parasailing), 스카이다이빙, 포물선 비행(parabolic flight)

c. 육상 교통 수단: 자동차, 기차, 트럭, 버스, 오프로드 차량(장갑차 포함), 자율주행 차량, 일부 동물 기반 운송 수단(예: 낙타)
d. 유희 시설: 놀이공원 기구, 놀이터의 움직임 기구, 특정 유형의 그네 또는 해먹
e. 흔들리는 건물: 저주파 바람이나 지진에 의해 유발되는 진동, 특히 고층 건물
f. 실험실 환경에서의 전정 자극: 코리올리 교차 결합 자극(Coriolis cross-coupling), 기울어진 축 회전(off-vertical axis rotation), 수평 또는 수직의 저주파 선형 진동, 인간 원심분리기에서의 특정 자극
g. 우주 비행: 궤도 진입 시 또는 지구로의 초기 귀환 시

2. 시각자극은 가상현실 및 증강현실 장치, 시뮬레이터, 영화, 컴퓨터 모니터, 동적 비디오 게임, 시운동(optokinetic)드럼 등을 통해 제시될 수 있다. 일부 소형 모바일 디스플레이도 특정 조건에서는 불편감을 유발할 수 있는데, 예를 들어 전경과 배경이 서로 다르게 움직이는 화면 시차(display parallax)가 존재하는 경우나, 보행 중이거나 차량에 탑승한 상태에서 화면을 시청하는 경우가 이에 해당한다. 시각자극에 의해 유발된 멀미가 신체적 움직임을 동시에 포함하는 경우(예: 모션 기반 비행 시뮬레이터, 운전 시뮬레이터, 선박 시뮬레이터 등)에는 각 자극 유형의 기여도를 구분하여 명시해야 한다.
3. 본 기준에 포함된 이러한 증상들과 그 밖의 다양한 증상들은 이미 문헌에서 공식적으로 정의되어 있다[12, 17]. 상복부 자각(stomach awareness)과 위 불편감은 멀미의 초기 위장관 증상으로 흔히 나타나며, 이러한 불쾌한 감각은 식도 부위 또는 심와부(epigastric area)에 국한되어 나타날 수 있다. 오심은 경미한 수준에서부터 중증까지 다양한 정도로 나타난다. 일반적으로 구토의 발생 가능성은 오심의 중증도와 관련되지만, 일부 상황이나 감수성이 매우 높은 개인에서는 오심이 거의 없거나 매우 경미한 경우에도 뚜렷한 전구 증상 없이 드물게 구토가 발생할 수 있다[35]. 경미하거나 중등도의 오심이 장기간 지속될 경우, 증상이 갑작스럽게 구토로 급격히 악화되는 이른바 '눈사태 현상(아발란체 효과, avalanche phenomenon)'으로 진행하기도 한다[36]. 강한 자극 상황에서 구토가 발생하는 경우, 이는 대개 중등도 이상의 오심 등 다른 증상이 시작된 이후 60분 이내에 나타난다[23, 37]. 구토는 신체적 움직임에 의한 멀미에 비해 시각유발멀미에서는 상대적으로 덜 흔하다. 이는 증상이 심해지기 전에 영향을 받은 개인이 시각 자극을 차단(예: 눈을 감는 행동)할 수 있기 때문일 수 있다. 오심 및 관련 증상은 일차성 위장관 질환이나 불안 장애에 의한 증상과 임상적으로 감별되어야 한다.
4. 멀미로 인한 발한은 일반적으로 다른 자율신경 징후 및 증상과 동반되는 이른바 '식은땀(cold sweat)'의 형태로 나타난다. 여기서 '식은'이라는 표현은 항상 차갑고 축축하게 느껴진다는 의미가 아니라, 주변 환경 온도의 상승 없이 발생한다는 점을 의미한다. 실제로는 얼굴, 목, 또는 상흉부에 갑작스러운 열감이 선행된 후 발한이 나타나는 경우가 흔하다. 따뜻한 환경에서 발생한 발한의 경우, 멀미에 의한 것인지 단순한 환경적 열 요인에 의한 것인지(예: 갑작스러운 발현 여부)를 구분해야 하며, 임상적 감별이 필요하다. 창백(pallor)은 구토 이전 단계에서 거의 항상 다양한 자율신경 증상과 함께 나타난다[38]. 다만 창백에 대한 개인의 회상은 타인의 지적이나 거울 관찰에 의존하는 경우가 많다. 따라서 창백을 경험했다는 보고는 임상적으로 중요하게 고려되어야 하지만, 이를 기억하지 못한다고 해서 창백의 부재를 단정할 수는 없다.
5. 피로, 졸림, 집중력 저하와 같은 증상은 28개 문항으로 구성된 SSQ/MSQ 전체 증상 목록에 포함되어 있으며, 이른바 '소파이트 증후군(sopite syndrome)'을 시사하는 소견으로 간주된다[39]. 장시간의 움직임 노출 실험에서는 기분 저하나 동기 감소와 관련된 여러 증상 또한 소파이트 증후군과 연관되는 것으로

보고되어 왔다[39]. 또한 가벼운 움직임 상황을 회상한 연구 참여자들은 멍한 느낌(fuzzy/foggy-headed), 무기력함(lazy/unmotivated), 이완된 느낌(relaxed) 등의 증상을 보고한 바 있다[17, 40]. 멀미로 인한 피로는 수면 부족, 신체적 탈진, 또는 무기력을 유발할 수 있는 다른 질환들과 임상적으로 감별되어야 한다.

6. 멀미로 인한 경우, 이러한 증상은 전정 질환, 기압 변화, 기립저혈압, 또는 시각 절벽(visual cliffs) 등 단일 원인만으로 설명되어서는 안 된다[41]. 예를 들어, 항공기 조종 중 충분한 시각 기준이 없는 상황이나 시각적으로 유발된 자기 움직임 착각을 경험하는 경우에는, 멀미 없이도 현훈이나 회전감(spinning sensation)이 발생할 수 있다. 현훈 삽화가 멀미와 겹치는 증상을 동반하는 경우, 해당 증상은 현훈 발작의 후유증상(sequelae)으로 간주하며 별도의 멀미 증후군으로 보지 않는다. 다만 임상의는 ICVD와 멀미 문헌 간의 정의 차이를 인지해야 한다. 멀미 관련 문헌은 ICVD 이전에 증상 정의를 확립하였으며, 두 체계 간에는 용어 사용에 차이가 존재한다. ICVD에서는 어지럼(dizziness)을 "움직임 감각을 동반하지 않는 방향 감각의 교란 또는 왜곡"으로 정의한다[42]. 반면 멀미 연구에서는 어지럼을 항상 명확히 정의하지 않거나, 자기 움직임 착각을 포함하는 개념으로 사용하는 경우도 있다. 마찬가지로 ICVD에서는 현훈(vertigo)을 "실제 자기 움직임이 없는데도 자기 움직임을 느끼는 감각, 또는 정상적인 머리 움직임 중 왜곡된 자기 움직임을 느끼는 감각"으로 정의한다[42]. 반면 멀미 연구에서는 현훈을 대개 수직 직립 방향(vertical upright)에 대한 방향 감각 상실로 해석하는 경우가 많다[12]. ICVD의 내적 현훈(internal vertigo) 정의는 각운동, 선형 운동, 기울기(tilt) 착각을 명확히 구분하지 않는다. 이러한 ICVD 정의를 멀미 문헌에 적용하면, 멀미를 유발하는 다양한 움직임 자극에 의해 현훈이 충분히 유발될 수 있음을 시사한다. 실제로 중증 멀미를 실험적으로 유발하는 대표적인 프로토콜(암실에서 일정 속도로 회전하는 동안 코리올리 교차결합 자극을 가하는 방식)은 정상적인 머리 움직임 중 반복적으로 일시적인 자기 기울기 왜곡(distorted self-tilt displacement)과 더 강한 자기 속도 착각(self-velocity illusion)을 유발한다. 이와 유사하게, 고속 회전, 저주파 수평 선형 진동, 대규모 시운동 자극(optokinetic field) 관찰, 비진자형 원심분리 후 감속, 다양한 비행 착각(leans, somatogravic illusion, G-excess), 우주비행 후 지상 재적응 과정 등에서도 속도 및 변위 착각이 발생할 수 있으며, 이들 대부분은 멀미를 유발할 수 있다[41, 43]. 따라서 전정 병변이 없는 개인에서 명확한 현훈이 보고되었다고 하더라도, 멀미의 발생을 배제할 수는 없다.
시각유발어지럼(visually induced dizziness)은 움직이거나 시각적으로 복잡한 자극에 의해 유발되는 공간적 방향감각의 혼란으로 정의되며, 자극과 시간적으로 밀접하게 연관된다(time-locked). 즉, 시각자극이 시작되면 증상이 즉시 발생한다. 시각유발멀미에서 나타나는 어지럼은 현상학적으로 시각유발어지럼과 구별되지 않지만, 시각유발멀미에서는 증상 발현이 지연되거나 지속 노출에 따라 점차 악화되는 양상을 보이는 경우가 많다. 전체 시야에 걸친 움직임은 자기 움직임 착각(vection)을 쉽게 유발하는 것으로 알려져 있으나, 이러한 착각이 시각유발멀미 발생의 필요조건도 충분조건도 아니다[17]. 그럼에도 불구하고, 머리의 roll(x축)을 따라 움직이는 대규모 시야 자극은 강한 자기 움직임 감각을 유발할 수 있으며, 이는 vection과 일치하는 현상이다[44].
7. 멀미 및 시각유발멀미에 대한 감수성은 편두통 또는 전정편두통 환자에서 더 높은 경향을 보인다(4.5.1절 참조). 그러나 움직임에 의해 유발된 두통이 항상 편두통을 의미하는 것은 아니다[45]. 멀미 및 시각유발멀미의 증상은 일반적으로 움직임이 종료되면 빠르게 소실되지만, 두통은 별도의 치료가 이루어질 때

까지 지속될 수 있다. 두통은 신체적 움직임에 의한 멀미보다 시각유발멀미에서 더 흔하며, 오심을 동반하지 않고 발생하는 경우도 많다. 이차적 증상으로서 머리의 충만감(head fullness) 역시 임상적으로 중요하다. 이는 시뮬레이터 멀미나 사이버 멀미 연구에서 유사한 증상이 빈번히 보고되기 때문이다. 또한 안구피로 또는 불편감, 초점 맞추기 어려움, 시야흐림은 시각유발멀미에서 특히 흔하게 나타나는 증상이다[7, 8]. 이러한 안구 및 시각 증상은 단순 시각 과로(visual overwork)나 안과적 질환과 감별되어야 한다. 시야흐림은 현훈과 동반될 수 있으며, 반드시 안과적 기능 이상을 의미하는 것은 아니다.

8. 움직임이 시작되자마자 즉시 증상이 나타나거나, 시작 시점에 이미 증상이 최고조에 이르는 경우에는 다른 원인을 우선적으로 고려해야 한다. 신체적 움직임과 관련된 경우에는 전정 질환을, 시각적 움직임과 관련된 경우에는 안과적 또는 시각-전정 질환을 감별해야 한다. 또한 불안 반응이나 과거 멀미 경험에 의해 특정 상황의 시각적·후각적 자극과 연합된 고전적 조건화(classical conditioning)에 의한 혐오 반응도 고려할 필요가 있다. 다만 매우 강한 자극의 경우, 감수성이 높은 개인에서는 증상이 빠르게 유발될 수 있다. 한편 개인의 적응 능력 범위 내에서 지속적으로 노출될 경우에는 습관화(habituation)가 일어나 멀미 증상이 점차 감소할 수 있다.
9. 멀미 또는 시각유발멀미의 일부 증상은 자극이 종료된 이후에도 지속될 수 있다. 그러나 증상은 반드시 움직임 자극이 진행되는 동안 시작되어야 하며, 자극이 종료된 이후에만 새롭게 발생해서는 안 된다. 이러한 기준은 멀미를 상륙증후군(mal de débarquement syndrome)과 구별하는 데 중요하다. 상륙증후군은 움직임이 종료된 이후에 증상이 시작되며, 최소 48시간 이상 지속되는 것이 특징이다[46].
10. 멀미와 시각유발멀미는 동시에 발생할 수 있으며, 안구운동 장애, 시각-전정 장애, 또는 전정편두통, 전정신경염, 지속체위지각어지럼(persistent postural-perceptual dizziness)과 같은 전정 질환이 동반된 경우 증상의 중증도가 악화될 수 있다. 이러한 경우에는 멀미 또는 시각유발멀미를 진단하는 것과 함께, 증상을 악화시키는 기저 질환에 대해서도 별도로 진단해야 한다.

3.2. 멀미장애 및 시각유발멀미장애

멀미장애(motion sickness disorder)는 증상을 유발하는 자극이 신체적 움직임일 때 진단한다. 시각유발멀미장애(visually induced motion sickness disorder)는 자극이 시각적 움직임일 때 진단한다. 멀미장애 또는 시각유발멀미장애는 다음 기준 A-E를 모두 충족할 때 진단한다:

A. 동일하거나 유사한 움직임 자극에 의해 유발된 멀미 또는 시각유발멀미가 최소 5회 이상 발생한다[1, 2, 3].
B. 징후 또는 증상이 동일하거나 유사한 움직임 자극에 의해 일관되게 반복적으로 유발된다[4].
C. 동일하거나 유사한 움직임 자극에 반복적으로 노출되었음에도 불구하고, 징후 또는 증상의 중증도가 유의하게 감소하지 않는다[5].
D. 징후 또는 증상으로 인해 다음 중 하나 이상의 행동적 또는 정서적 반응이 나타난다[6].
   a. 멀미 증상을 줄이기 위한 활동의 변화
   b. 멀미를 유발하는 움직임 자극의 회피
   c. 움직임 자극 노출 이전에 나타나는 혐오적 예기 정서
E. 해당 징후 또는 증상은 다른 질환 또는 장애로 더 잘 설명되지 않는다[7].

주석:

1. 2회에서 4회의 삽화가 발생한 경우에는 개연멀미장애(probable motion sickness disorder) 또는 개연시각유발멀미장애(probable visually induced motion sickness disorder)로 진단할 수 있다.
2. 인구집단 수준에서, 전정 기능에 영향을 미치는 특정 질환이 없는 경우(4.5절 참조), 멀미 감수성은 일반적으로 아동기 및 청소년기에 정점에 이르고 이후 연령

이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보인다. 증상이 12세 이하 시기에 해당하는지, 또는 12세 초과에 해당하는지를 구분하는 것은 현재 상태에 대한 정확한 의사소통과 예후 인자의 판단에 도움이 된다. 단순화된 멀미감수성설문지(Motion Sickness Susceptibility Questionnaire, 이하 MSSQ) 점수 체계를 기반으로 할 때, 아동기 회상 점수(Part A)와 성인기 멀미 감수성 점수(Part B) 간의 피어슨 상관계수는 r=0.65로 보고되었다[47, 48].

3. 한 유형의 자극에 대한 멀미 또는 시각유발멀미 감수성은 서로 다른 유형의 자극에 대한 반응을 반드시 예측하지는 않는다. 따라서 비행기, 자동차, 선박, 가상현실 시스템, 시뮬레이터 등 각각의 움직임 자극에 대한 멀미 및 시각유발멀미는 개별적으로 평가되어야 한다(3.1절 주석 1 및 2 참조).
4. 특정 교통 상황에서 멀미를 경험한 병력은, 유사한 상황에 다시 노출될 때 멀미 발생 가능성을 예측하는 가장 강력한 지표이다[54]. 다만 소형 교통수단은 이동 매질(예: 공기, 물)의 진동 영향을 더 크게 받기 때문에, 어떤 개인은 소형 보트에서는 멀미를 경험하지만 대형 선박에서는 그렇지 않을 수 있으며, 소형 프로펠러 항공기에서는 멀미를 경험하나 대형 제트 여객기에서는 경험하지 않을 수도 있다. 또한 시각유발멀미는 특정 헤드마운트 가상현실 장치, 시뮬레이터, 또는 디스플레이 장치에 특이적으로 유발될 수 있다.
5. 멀미 및 시각유발멀미 감수성은 일반적으로 반복 노출에 따라 감소하는 경향이 있다. 적응 속도는 자극의 강도 및 예측 가능성, 개인의 고유 감수성, 혐오 조건화, 그리고 개인의 적응 능력 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는다. 동일한 자극에 반복적으로 노출되었음에도 멀미가 지속적으로 유발되는 경우는 습관화(habituation)에 실패했음을 의미하며, 이는 멀미장애 및 시각유발멀미장애의 핵심 특징이다. 단, 포물선 비행이나 매우 거친 해상 조건과 같이 극도로 강하고 드물게 노출되는 자극의 경우에는 예외로 한다.
6. 멀미 또는 시각유발멀미에 대한 일반적인 행동 반응은 가능한 경우 해당 자극을 회피하거나 노출 시간을 단축하는 것이다. 이러한 조치가 어려운 경우에는 자극 노출 이전부터 부정적 예기 정서 또는 조건화된 혐오 반응(예: 예기 오심)이 나타날 수 있다.
7. 한 개인은 멀미장애, 시각유발멀미장애, 또는 두 가지 모두로 진단될 수 있다.

3.3. 멀미 감수성과 중증도

지난 세기 동안 멀미와 시각유발멀미에 대한 높은 관심은 다양한 중증도 및 감수성 평가 척도의 개발로 이어졌다. 연구 목적으로 사용되어 온 여러 척도가 제시되어 있으며, 3.1절 A 기준에서 제시된 증상 범주와의 중복성을 보여주기 위해 공통 요소를 함께 정리하였다.

- 표 1: 다항목 증상 기반(multisymptom) 상태 중증도 평가 체크리스트[12, 31–33][40]
- 표 2: 단일 응답(single-answer) 방식의 상태 중증도 설문지[49–53]
- 표 3: 특성 감수성(trait susceptibility)을 회상적으로 평가하는 척도[47, 48, 54]

소위원회는 각 척도가 연구 목적 또는 임상 적용 목적에 따라 갖는 고유한 장점을 고려하여 선택적으로 사용될 것을 권고한다. 예를 들어, 멀미감수성설문지 단축형(Motion Sickness Susceptibility Questionnaire Short Form, 이하 MSSQ-Short)은 전반적인 멀미 특성 감수성을 회상적으로 추정하는 데 적합하다[48]. SSQ의 처음 16개 문항은 시각유발멀미의 상태 중증도를 평가하는 데 적절하다. 또한 SSQ/MSQ의 28개의 전체 증상 목록은 멀미의 상태 중증도를 평가하는 데 사용할 수 있다[12].

표 1. 다증상 체크리스트 기반 멀미 중증도 설문지

명칭	펜사콜라 진단 지수/펜사콜라 진단 기준/수정 펜사콜라 진단 기준[31, 32, 40]	시뮬레이터 멀미 설문지/멀미 설문지[12]	멀미 평가 설문지[33]
약어	PDI/PDC/MPDC	SSQ/MSQ	MSAQ
연도	1968/1970/2014	1993	2001
주요 자극	초기 검증: 회전실(자유 움직임, Dial Test, 자동화된 Coriolis 교차결합), 능동/수의적 Coriolis 교차결합 추가 사용: 저주파 진동, Z축 누운 자세 회전, 시뮬레이터, 우주비행, 포물선 비행, 시운동 드럼, 가상현실 등	SSQ: 정지 및 이동 비행 시뮬레이터에서 초기 검증 추가 사용: 가상현실, 시운동 드럼 등 SSQ/MSQ: 주로 해상 멀미를 기반으로 개발됨 추가 사용: 다양한 실험실 움직임, 우주비행, 포물선 비행, 가상현실 등	초기 검증: 시운동 드럼 추가 사용: Coriolis 교차결합, 운전 시뮬레이터, 다양한 해상 선박 환경
중증도 수준	대부분의 증상은 원래 없음-최소-경미-중증으로 점수화됨	없음-경미-중등도-중증	1-9점 (1 = 전혀 없음, 9 = 매우 심함)
다증상 군 이름	공식적인 하위요인은 없으나, 원래 PDI에서는 다음 증상들이 하나의 중증도 연속선으로 묶임: 상복부 자각/불편감, 경미한 오심, 중등도 오심, 심한 오심, 구토/헛구역질	안구운동(O) 방향감각상실(D) 오심(N)	위장관(G) 중추(C) 말초(P)
평가 증상		*아래는 16개 SSQ 증상과 전체 SSQ/MSQ를 구성하는 추가 12개 증상*	
오심, 위장관 증상	오심 구토/헛구역질 상복부 자각; 상복부 불편감 (별도로 평가되었으나 원래 PDI에서는 둘 다 중증도 점수에 포함되지 않음) 침 분비 증가	오심(N,D) 구토(전체 MSQ) 위부 불편감(N) (오심에 이르기 전의 불편감으로 정의됨) 식욕 감소/증가 (전체 MSQ의 두 문항) 트림(N) 배변 욕구(전체 MSQ) 침 분비 증가(N) 침 분비 감소(전체 MSQ)	오심(G) 울렁거림(G) 구토할 것 같은 느낌(G) 속이 불편함(G)
체온조절 이상	식은땀 홍조/열감 창백	발한(N)	땀이 남(P) 끈적한 땀/식은땀(P) 더움/따뜻함(P)

표 1. 다증상 체크리스트 기반 멀미 중증도 설문지(계속)

명칭	펜사콜라 진단 지수/펜사콜라 진단 기준/수정 펜사콜라 진단 기준[31, 32, 40]	시뮬레이터 멀미 설문지/멀미 설문지[12]	멀미 평가 설문지[33]
각성 변화	졸림	졸림(전체 MSQ) 피로(O) 우울감(전체 MSQ) 집중 곤란(N,O) 혼란(전체 MSQ) 지루함(전체 MSQ)	졸림(S) 피곤함/피로(S) 짜증/과민함(S)
어지럼/현훈	어지럼 (눈 뜬 상태/감은 상태의 두 문항)	어지럼(D) (눈 뜬 상태/감은 상태의 두 문항) 현훈(D)	어지럼(C) 회전감(C)
두통/안구 증상	두통	두통(O) 머리 충만감(D) 시야흐림(O,D) 눈 피로(O) 초점 맞추기 어려움(O) 움직임의 시각적 착각 (장치 또는 교통수단 안에 있지 않을 때)(전체 MSQ)	
전반적 증상		전반적 불편감(N,O)	실신할 것 같은 느낌(C) 어찔함(C) 불편감(S) (Sopite 군에 속하나, 사전적으로는 전반적 불편감과 유사하게 정의됨)

충분히 강한 자극이 주어질 경우 거의 모든 사람에게서 멀미가 유발될 수 있다. 그러나 감수성의 인구 분포에서는 양극단에 특히 취약하거나 거의 취약하지 않은 개인들이 존재한다. 과거 멀미 감수성에 대한 회상 점수의 분포는 감수성의 약 75번째 백분위수까지는 대체로 선형적으로 증가하다가, 이후 고점 구간에서는 완만해지는 경향을 보인다. 예를 들어 MSSQ-Short의 총점은 54점이며, 11점은 50번째 백분위수, 19점은 75번째 백분위수, 27점은 90번째 백분위수, 31점은 95번째 백분위수에 해당한다. 이는 인구의 소수만이 심한 멀미 감수성을 보인다는 것을 의미한다. 즉, 전체 인구의 90%는 MSSQ 점수 0-27점 범위에 속하며, 10%만이 28-54점 범위에 속한다[47]. 또한 이러한 표준값(norms)은 연구 대상 집단의 인구학적 특성에 따라 달라질 수 있으므로, 대표성이 제한된 집단을 대상으로 연구할 경우 이를 고려해야 한다[55, 56]. 감수성이 매우 높은 개인은 한 가지 이상의 자극 유형에 대해 멀미를 경험하는 경향이 있다. 그러나 일반적인 감수성을 가진 개인에서의 멀미 감수성은 시각유발멀미 감수성을 강하게 예측하지는 않는다. 이러한 예측의 한계는 증상 유형과 시간적 진행 양상에서 나타나는 개인 간 큰 변이에 부분적으로 기인할 수 있다[56].

특히 증상 양상에는 다음과 같은 차이가 있다:

- 오심과 구토는 일반적으로 시각유발멀미에서 신체적 움직임에 의한 멀미보다 덜 흔하다.
- 반대로, 안구 운동 관련 증상(예: 안구 피로, 시야흐림)과 두통은 멀미보다 시각유발멀미에서 더 흔하다.
- 고령자는 일반적인 멀미 감수성은 낮은 반면, 시각유발멀미 감수성은 상대적으로 높을 수 있다[7, 17, 57].

멀미의 빈도와 중증도는 다음과 같은 방법으로 완화될 수 있다:

- 자극 노출 감소(회피 또는 중단)
- 노출 중 행동 조정(예: 머리 움직임 제한)
- 노출 이전 약물 복용
- 지구 기준 단서(earth-referenced cues) 강화(예: 외부 풍경 응시)
- 반복적이고 통제된 노출을 통한 습관화 유도

시도되어 온 중재 방법에는 다음이 포함된다:

- 습관화 훈련: 안구 – 머리 협응 훈련 및 반복 노출[23]
- 약물학적 전처치: 항무스카린제, 항히스타민제, 항콜린성 약물[58]
- 비약물적 접근: 음악, 향기 자극[59]
- 행동 기법: 호흡 훈련, 명상[60]

생강(ginger)이나 지압(acupressure)은 흔히 사용되지만, 이에 대한 근거는 일관되지 않다[61-65]. 이러한 중재의 효과는 개인과 상황에 따라 크게 달라지며, 가장 일관된 효과는 적응(adaptation), 약물 치료, 그리고 노출 중 행동 조정에서 나타난다. 다만 습관화는 대체로 자극 특이적(stimulus-specific)이며, 서로 다른 움직임 환경 간에 일반화되지 않을 수 있다.

3.4. 멀미장애 및 시각유발멀미장애의 영향

경미하고 쉽게 회피 가능하며 기능적 영향이 없는 멀미는 정상 전정 기능을 가진 개인에게 흔히 나타날 수 있으며, 이를 장애로 간주해서는 안 된다. 그러나 기본적인 교통수단 이용과 같은 일상생활 활동을 수행하는 데 어려움을 주거나, 가족·직장·사회적 의무 이행에 지장을 초래하는 멀미 감수성은 신체적·정신적 건강에 영향을 미칠 수 있다. 건강한 개인에서도 멀미는 질병 상태 자체의 직접적인 영향, 멀미를 유발하는 활동의 회피, 또는 멀미 자체나 약물 치료로 인한 진정(sedation) 효과 등을 통해 직장이나 학업 수행 능력을 저하시킬 수 있으며, 사회적 참여를 감소시킬 수 있다[27, 66, 67]. 오심, 무기력(lethargy), 졸림은 중요한 과제 수행에서 주의력을 분산시킬 수 있으며, 구토는 탈수나 흡인(aspiration)을 초래할 수 있다[39, 68].

공식적인 장애 평가 척도는 기존의 멀미 또는 시각유발멀미 평가 척도와 함께 사용하여, 멀미장애 또는 시각유발멀미장애로 인한 기능적 장애를 정량화 할 수 있다. 예를 들어, Sheehan Disability Scale은 직장, 가족, 또는 사회적 기능에 미치는 영향을 10점 척도로 평가하며, 증상으로 인한 근무 시간 손실 또는 생산성 감소 여부도 함께 조사한다[69]. 또한 보다 간단한 영향 평가 도구로서, 증상으로 인해 직장, 사회

표 2. 단일 응답 방식의 멀미 중증도 척도

명칭	질병감 평가[49, 50]	불쾌감 척도[51, 52]	신속 멀미 척도[53]
약어	IR	MISC	FMS
연도	1992/2004	2005/2011	2011
주요 자극	초기 검증: 저주파 운동/교차결합 운동/자동차 이후 여러 다른 자극에도 사용됨	초기 검증: 움직임 시뮬레이터/헤드마운트 디스플레이 이후 여러 다른 자극에도 사용됨	초기 검증: 운전 및 롤러코스터의 수동적 시각자극 이후 여러 다른 자극에도 사용됨
중증도 수준	0 = 증상 없음 † 1 = 어떤 증상이든 있으나 매우 경미함* 2 = 경미한 증상* 3 = 경미한 오심 4 = 경미-중등도 오심 5 = 중등도 오심이나 지속 가능 6 = 중등도 오심이며 중단하고 싶음 *예: 위부 불편감; 기타 특정되지 않은 증상	0 = 문제 없음 1 = 불편감 2 = 막연한 증상** 3 = 경미한 증상** 4 = 상당한 증상** 5 = 심한 증상** 6 = 경미한 오심 7 = 상당한 오심 8 = 심한 오심 9 = 헛구역질 10 = 구토	0 = 멀미 없음 20 = 명백한 멀미
전체 점수에 간접적으로 반영되는 개별 증상		**어지럼, 열감, 두통, 위부 불편감, 발한, 기타 특정되지 않은 증상	개별 증상은 추적하지 않음. 다만 대상자에게 다른 증상(예: 피로, 어지럼, 안구운동 증상)은 무시하고, 오심, 위장 문제, 전반적 불편감에 초점을 맞추도록 지시함
오심, 위장관 증상	오심 위부 불편감	오심 헛구역질 구토 침 분비 위부 불편감 트림	(오심) (명백한 멀미) (위장 문제)
체온조절 이상		발한 열감	
각성 변화		피로감 하품	
어지럼/현훈		어지럼	
두통/안구 증상		두통 시야흐림	
기타		불편감	전반적 불편감

† 주: Golding과 Kerguelen은 1-7 척도를 사용하였고, Griffin 등은 0-6 척도를 사용하였다.

표 3. 회상적 멀미 특성 감수성 척도

명칭	펜사콜라 멀미 병력 설문지 [54]	멀미 감수성 설문지 (장문형/단축형)[47, 48]
약어	MHQ	MSSQ; MSSQ-S (54문항; 이후 18문항으로 단축됨)
연도	1990	1998/2006
조사한 움직임 유형 / 구성 요소	신체적 움직임	신체적 움직임 Part A 아동기(<12세) Part B 성인기(최근 10년)
	14가지 상황에서 12가지 증상의 발생을 조사함. 12가지 증상에는 구토, 오심, 위부 불편감, 침 분비 증가, 어지럼, 졸림, 발한, 창백, 현훈, 호흡 자각, 두통, 기타가 포함됨.	9가지 상황 각각에서 멀미감 또는 오심을 느낀 삽화를 조사함. 장문형은 노출량도 함께 조사함.

생활, 가족 관계, 또는 여행에서 어려움을 경험하는지 여부를 예/아니오로 묻는 방식의 신속 평가를 사용할 수 있다. 예로는 멀미에 맞게 수정된 Social Life and Work Impact of Dizziness 단축형이 있다[70, 71].

대부분의 경우, 교육, 노출 최소화, 악화 행동 회피, 항멀미제의 단기 사용 또는 사전에 수행하는 간단한 습관화 운동이 이환율을 줄이는 데 사용될 수 있다. 멀미 또는 시각유발멀미가 장애로 간주되지 않더라도, 의학적 관심을 받을 만한 임상적 질환으로 인식되어야 한다.

4. 멀미의 임상적 특징

4.1. 유병률

아동기 멀미의 유병률은 사춘기 이전에 35-43%로 추정되며, 젊은 성인에서는 약 25%로 보고된다. 30세 미만 성인의 약 14%에서 멀미는 흔한 문제로 나타나며, 61세 이상 성인에서는 약 7%로 감소한다[72-74]. 시각유발멀미의 유병률은 자극 유형과 시각 콘텐츠의 특성에 따라 매우 다양하게 나타난다. 보고된 비율은 1%[75]에서 60%[76], 나아가 80-95%[77, 78]에 이르기까지 광범위하다.

4.2. 인구학적 특성

4.2.1. 연령

멀미 감수성은 연령에 따라 변화한다. 영아는 대략 2세까지 멀미에 비교적 저항성을 보이나, 이후 멀미 감수성이 증가하여 7-12세 사이에서 정점에 도달하고, 이후 성인기에 접어들면서 점차 감소한다[19, 72, 79]. 감수성은 연령이 증가함에 따라 전반적으로 감소하는 경향을 보이나, 일부 개인에서는 오히려 증가할 수 있다[27].

반면, 연령 증가에 따른 시각유발멀미 감수성의 증가는 비교적 잘 문서화되어 있으며, 고령자는 젊은 성인에 비해 시각유발멀미를 더 많이 보고한다[55, 80, 81]. 다만 유병률을 추정할 때에는, 감수성이 높은 개인이 스스로 멀미를 유발하는 상황을 회피함으로써 실제 노출 기회가 줄어들 수 있다는 점을 고려해야 한다. 이러한 회피 행동은 멀미 또는 시각유발멀미의 실제 부담을 과소 추정하게 만들 수 있다.

4.2.2. 성별

멀미에서의 성별 차이에 대한 근거는 일관되지 않다. 기존 문헌 중 약 50%에서만 여성이 남성보다 멀미에 더 취약하다고 보고되었으며[17], 이러한 추정치는 자극 유형, 평가 지표, 연령, 인종/민족적 배경, 호르몬 상태 등에 따라 연구마다 다르게 나타난다[47, 74, 82-86]. 멀미에서의 성별 차이는 통제된 실험실 연구보다는 설문 연구에서 더 자주 관찰되었으며, 최근 연구보다는 과거 연구에서 더 흔하게 보고되었다[17]. 또한 성별 차이를 인정하는 연구에서도 그 효과 크기는 연령 효과의 약 3분의 1 수준에 불과하다[87, 88]. 경구 피임약 사용, 월경, 임신, 코르티솔 수치와 같은 이차적 호르몬 요인은 여성에서 멀미 감수성과 상관을 보이며, 이는 성별과

멀미 간의 관계를 더욱 복잡하게 만든다[87, 89, 90].

시각유발멀미에서의 성별 차이는 일부 연구에서 보고되었으나[81, 91-93], 이러한 차이가 여성이 남성보다 증상을 더 적극적으로 보고하는 경향, 자기 인식 또는 신체 감각 인식의 차이, 움직임 경험의 차이 등 다양한 교란 요인에 기인한 것인지는 명확하지 않다[17, 92]. 가상현실 사용에 따른 시각유발멀미에서 성별 차이를 확인하지 못한 메타분석도 있으며[94], 다른 연구에서는 가상현실에서 관찰된 성별 차이가 동공 간 거리(interpupillary distance)가 작은 사람에게 장치를 적절히 맞추기 어려운 점과 같이 성별 자체와 직접적으로 관련되지 않은 변수로 설명될 수 있다고 보고하였다[95]. 이 외에도 개인의 선천적 시야 범위, 비디오 게임 경험, 수동적 신체 고정(passive restraints) 등 성별과 무관한 다양한 요인이 시각유발멀미 발생에 영향을 미칠 수 있다[96-98]. 전반적으로 볼 때, 출생 시 지정된 생물학적 성별 자체에 특이적인 시각유발멀미 차이를 뒷받침하는 근거는 제한적이다.

4.2.3. 인종 및 민족

설문지 평가, 머리 전굴 자세에서의 신체 회전 자극, 시운동(optokinetic) 드럼 노출 등을 이용하여 멀미 감수성을 평가한 연구들에서는 유럽계 또는 아프리카계 사람들에 비해 아시아계 사람들에서 멀미 감수성이 더 높은 것으로 보고되었다[82, 99]. 이러한 차이는 미국에서 태어난 아시아계 부모의 자녀에서도 지속되어, 멀미 감수성에 적어도 부분적인 유전성 요인이 관여할 가능성을 뒷받침한다[99].

멀미에 대한 민족적, 인종적, 문화적 요소를 규명하기 위해서는 추가적인 통제 연구가 필요하다. 환자 진료나 직업 적합성 판단에 영향을 미칠 수 있는 이러한 특성에 대한 일반화는 신중하게 해석되어야 한다.

4.3. 유전적 요인

여성에서 수행된 멀미 유전성 연구에 따르면, 아동기 멀미에 대해 일란성 쌍둥이의 일치율(concordance)은 0.69, 이란성 쌍둥이의 일치율은 0.44로 보고되었으며, 이를 통해 약 70%의 유전력이 추정되었다[72]. 자동차 멀미(carsickness)를 경험한 80, 494명을 대상으로 한 대규모 전장유전체 연관 분석(genome-wide association study, GWAS)에서는 전장 유의 수준에 도달한 35개의 단일염기다형성(single nucleotide variant)이 확인되었다. 이들 영역에 포함된 주요 상위 10개 유전자는 *PVRL3, GPD2, ACO1, AUTS2, GPR26, UBE2E2, CBLN4, MUTED, LINGO2, CPNE4* 등이었다[74]. 이 35개 변이에서 각 개인이 보유한 위험 대립유전자(risk allele)의 수를 기반으로 산출한 유전적 위험 점수(genetic risk score)는 멀미 감수성을 예측하는 데 활용될 수 있다. 이들 유전자는 뇌, 눈, 귀의 발달뿐 아니라 인슐린 저항성과 같은 대사 기능에 이르기까지 다양한 생물학적 기능에 관여한다. 또한 일부 유전자 좌위는 어지럼, 수술 후 오심 및 구토, 고산병, 입덧(morning sickness), 유제품 소화 불량, 적포도주 섭취 후 두통을 경험하는 개인에서 보고된 유전자와도 중첩된다[74].

4.4. 기타 수정 요인

멀미 감수성에 영향을 줄 수 있는 기타 요인으로는 기저 자율신경 긴장도, 혈당 수준, 유산소 체력 등이 있다[100-102]. 그러나 이러한 다양한 요인들이 복합적으로 작용하기 때문에, 개인의 멀미 감수성에 최종적으로 어떤 영향을 미치는지를 예측하는 것은 쉽지 않다.

4.5. 연관 증후군

4.5.1. 편두통

편두통과 멀미의 증상은 여러 측면에서 서로 겹친다. 예를 들어, 오심, 위불편감(stomach awareness), 두통 등이 공통적으로 나타난다[84, 103]. 편두통 환자의 최소 50%에서 멀미 병력이 자가 보고되며, 아동기 멀미 병력은 청소년기 및 성인기에 편두통이 발생하는 것과 상관을 보인다[47, 104, 105]. 이러한 연관성은 편두통 환자에서 오심 및 구토를 매개하는 신경 경로가 특히 민감함을 시사한다[47]. 시운동(optokinetic) 자극 동안 두피 압통과 오심은 편두통 환자에서 비편두통 환자보다 더 크게 증가한다[106]. 기울어진 축 회전(off-vertical axis rotation)으로 유발된 멀미는 특히 편두통 환자에서 더 강하게 나타난다[45]. 이러한 유형의 멀미는 편두통 급성기 치료제인 리자트립탄(rizatriptan)에 의해

완화될 수 있다[107, 108]. 반면, 시각유발멀미는 리자트립탄 전처치에 의해 뚜렷하게 감소하지 않는 것으로 보고되었다[109]. 편두통 환자는 멀미와 시각유발멀미 모두에서 더 높은 감수성을 보이지만, 이 집단에서 두 상태 간의 상관은 약한 편이다[110].

4.5.2. 구조적 전정 질환

말초 전정 기능 상실은 멀미 발생 역치를 유의하게 높인다. 그러나 기능하는 전정계가 시각유발멀미에 어떤 역할을 하는지는 명확하지 않다[45, 111-113]. 만성적이고 안정된 일측 또는 양측 전정 기능 상실 환자는 건강 대조군에 비해 임상적 멀미 평가 점수가 낮다. 반면, 양성돌발두위현훈 환자에서는 멀미 감수성에 유의한 차이가 나타나지 않는다[79]. 전정신경염 환자는 질환 발생 이후 멀미 감수성이 증가하거나 감소할 수 있으며, 보상(compensation)이 충분히 이루어지지 않은 경우 감수성이 증가하는 경향이 있다[45, 57]. 두 연구에서는 메니에르병 환자가 건강 대조군보다 멀미에 더 취약하나, 편두통 또는 전정편두통 환자보다는 덜 취약하다는 결과를 보고하였다[114, 115]. 전정 환자에서 온도안진 반응 비대칭(caloric asymmetry)의 정도와 임상적 멀미 설문 점수 간에는 유의한 상관이 발견되지 않았다. 반면, 전정 기능 상실이 없는 전정 질환 환자에서는 건강 대조군보다 더 높은 멀미 점수가 보고되었다[45, 104]. 약 10분간의 실험실 움직임 노출은 서로 다른 전정 질환(전정신경염, 양측 전정 기능저하, 전정편두통) 환자 간 멀미 감수성을 구분하는 데 도움이 되는 것으로 나타났다[45].

5. 멀미의 실험실 검사

멀미는 실험실 환경에서도 유발될 수 있으며, 실제 상황에서 나타나는 멀미 변동성의 약 38%는 도발적 실험실 움직임 검사에 대한 개인의 반응으로 설명될 수 있다[54]. 그러나 이러한 확립된 멀미 유발 검사의 대부분은 임상 진단 목적으로 사용되지는 않는다. MSSQ 점수와 교차결합 자극(cross-coupled stimulation)에 의해 실험적으로 유발된 오심 간의 상관계수는 0.14에서 0.58 사이로 보고되었으며, 일반적으로 수직 선형 진동(vertical translational oscillation)에서 수평 진동보다 더 높은 상관을 보였다[47].

선형 운동의 세 가지 평면 중, 중력 벡터를 기준으로 한 운동 방향(예: 지구 기준 수직 vs 수평)은 멀미를 유발할 수 있는 잠재력에서 서로 동등하다. 그러나 신체 기준 좌표계(body-referenced axes)에서 X축 또는 Y축을 통한 운동(예: 직립 자세에서 전후 또는 좌우 운동)은 Z축(머리-몸통 장축을 따라 상하 방향) 운동보다 더 강하게 멀미를 유발한다[116]. 즉, 지구 기준 수평 및 수직 평면에서의 운동은 동일한 구토 유발 잠재력을 가지지만, 신체 기준 X 및 Y축에 대한 운동 방향을 변화시키는 경우는, Z축에 비해 약 두 배 더 민감하게 멀미를 유발한다.

논란이 있는 부분은 전정안반사의 위상선행(phase lead)이 작을수록 속도저장(velocity storage)이 강화된 것을 의미하는데, 이러한 특성이 멀미 감수성과 병태생리적으로 관련이 있는지 여부이다. 일부 연구에서는 관련성을 보고하였으나[116-120], 다른 연구에서는 이를 확인하지 못하였다[88, 107]. 이러한 상반된 결과는 움직임 자극에 대한 습관화 정도와 관련될 수 있다[121]. 절대적인 전정안반사 값 자체는 멀미 감수성의 적절한 지표가 아닐 수 있으며, 오히려 다양한 멀미 유발 자극에 대해 전정안반사를 조절할 수 있는 능력이 더 관련될 수 있다는 제안도 있다[27, 88]. 또한 멀미 감수성과 전정반응의 적응성(adaptability) 간의 연관성은, 경부전정유발근전위(cervical vestibular evoked myogenic potentials)의 역치가 낮을수록 해상 멀미에 대한 습관화 능력이 높다는 보고에 의해 지지된다. 이는 낮은 전정유발근전위 역치가 움직임 자극에 대해 더 넓은 잠재적 적응 반응 범위를 가능하게 하기 때문일 수 있다[122].

6. 감별 진단

건강한 개인에서 멀미 감수성은 일반적으로 연령이 증가함에 따라 감소하므로, 성인에서 멀미 감수성이 증가하는 경우에는 멀미 역치가 낮아진 기저 원인이 있는지 평가해야 한다. 이러한 평가는 전정질환, 편두통, 내분비이상, 안구정

렬이상, 기타 중추신경계 질환 등에 대한 평가를 포함할 수 있다. 수동적인 전신 움직임이 없는 상황에서 머리 움직임에 의해 불편감이 유발되는 경우에는, 장기간 움직임에 적응한 이후의 후유 효과와 직접적으로 관련된 경우(예: 항해 후 육지 복귀 시)를 제외하고, 보상되지 않은 전정비대칭(uncompensated vestibular asymmetry)을 의심하고 전정 기능 검사를 시행해야 한다. 마찬가지로, 시각유발멀미 양상이 갑작스럽게 변화한 경우에는 안과적 문제 또는 안구운동 이상에 대한 면밀한 평가가 필요하다. 임상의는 특정 유형의 보상되지 않은 전정 병변이 있는 환자에서의 머리 움직임이나, 건강한 사람이라도 도전적인 움직임 상황 또는 비정상적 힘 환경(예: 우주)에서의 머리 움직임이 오심, 두통, 어지럼, 현훈, 진동시(oscillopsia), 시야흐림 등의 유사 증상을 유발할 수 있음을 인지해야 한다. 따라서 이러한 증상만으로 전정 병변과 멀미를 확정적으로 구분해서는 안 되며, 증상이 언제 발생했는지(예: 최근 움직임 경험과의 시간적 관계), 어떤 조건에서 발생했는지(예: 움직임의 유형과 지속 시간), 그리고 어떤 추가 증상이 동반되었는지를 면밀히 확인해야 한다[43]. 마지막으로, MSSQ 점수가 높은 젊은 개인에서는 멀미장애를, SSQ 점수가 높은 고령자에서는 시각유발멀미장애를 더 강하게 의심할 수 있다. 그러나 멀미와 시각유발멀미 감수성에는 개인차가 매우 크므로 인구학적 특성만을 근거로 일반화해서는 안 된다.

7. 향후 과제

본 문서에서 제시한 멀미 및 시각유발멀미의 진단기준은, 움직임 자극에 대한 정상적인 인간 반응과 이를 장애로 간주해야 하는 상태를 명확히 구분하는 데 있어 여전히 해결해야 할 중요한 정보 공백이 존재함을 인정한다. 이러한 구분이 어려운 이유 중 하나는 개인의 고유한(특성, trait) 감수성, 동반 질환, 그리고 각 개인이 경험하는 자극의 다양성 등 수많은 변수가 복합적으로 작용하기 때문이다.

멀미 및 시각유발멀미 연구에서의 한 가지 도전 과제는 교통수단과 엔터테인먼트 기술의 급속한 발전으로 인해 새로운 형태와 수가 증가하는 움직임 자극 환경이 조성되고 있다는 점이다[123]. 향후 인간이 향상된 습관화 훈련, 지구 기준 감각 단서(earth-referenced sensory cues)의 활용, 전정 입력의 조절, 인지 기능 강화 기법, 약물 치료, 또는 비침습적 뇌자극 기법 등을 통해 현재의 움직임 내성 한계를 극복할 수 있을지는 아직 명확하지 않다. 인구학적 특성, 호르몬 리듬, 유전적 요인, 생리적 상태 등을 기반으로 감수성을 예측할 수 있다면, 자극 강도와 질병 부담을 감소시키는 방향으로 환경을 최적화하는 데 기여할 수 있을 것이다. 이러한 목적을 위해 본 문서에서는 멀미/시각유발멀미 및 멀미장애/시각유발멀미장애에 대한 진단기준을 제안하였으며, 이는 임상의와 연구자 간 보다 명확한 의사소통을 촉진하기 위한 것이다. 향후 역학 자료, 자연 경과, 생체표지자, 장기 건강 영향 평가 등에 대한 체계적인 자료 축적이 이루어짐에 따라, 이 진단기준은 지속적으로 발전할 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] D. Huppert, J. Benson and T. Brandt, A Historical View of Motion Sickness-A Plague at Sea and on Land, Also with Military Impact, *Front Neurol* **8** (2017), 114.

[2] E. Darwin, Zoonomia, or The Laws of Organic Life, Vol-ume I : Second Edition. Printed for J. Johnson, St. Paul's Church-Yard, London, (1796)

[3] J.A. Irwin, The pathology of sea sickness, *The Lancet* **118** (1881), 907 – 909.

[4] W. James, The sense of dizziness in deaf-mutes, *Am Ann Deaf* **28** (1883), 102 – 117.

[5] R.S. Kennedy, A. Graybiel, R.C. McDonough and D. Beckwith, Symptomatology under storm conditions in the North Atlantic in control subjects and in persons with bilat-eral labyrinthine defects, *Acta Oto-laryngol* **66** (1968), 533 – 540.

[6] J.T. Reason and J.J. Bland, Motion Sickness, London, New York, San Francisco, 1975.

[7] B. Keshavarz, H. Hecht and B.D. Lawson, Visually-induced motion sickness: Causes, characteristics, and countermeasures. Handbook of virtual environments: Design, implementation, and applications, 2nd Edition. New York, NY: CRC Press, an imprint of Taylor & Francis Group, LLC. (2014), 647 – 698.

[8] L.J. Hettinger and G.E. Riccio, Visually induced motion sickness in virtual environments, *Presence-Teleop Virt* **1** (1992), 306 – 310.

[9] R.W. Wood, The 'Haunted Swing' illusion, *Psychol Rev* **2** (1895), 277 – 278.

[10] G.M. Stratton, Some preliminary experiments on vision without inversion of the retinal image, *Psychol Rev* **3** (1896),

611 − 617.
[11] G.M. Stratton, Vision without inversion of the retinal image, *Psychol Rev* **4** (1897), 341 − 360.
[12] R. Kennedy, N. Lane, K. Berbaum and M. Lilienthal, Sim-ulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness, *Int J of Aviat Psychol* **3** (1993), 203 − 220.
[13] G.H. Crampton and F.A. Young, The differential effect of a rotary visual field on susceptibles and nonsusceptibles to motion sickness, *J Comp Physiol Psychol* **46** (1953), 451 − 453.
[14] R. Kennedy, G. Allgood, B. Van Hoy and M. Lilienthal, Motion sickness symptoms and postural changes follow-ing flights in motion-based flight trainers, *J Low Freq Noise, Vib* **6** (1987), 147 − 154.
[15] R.S. Kennedy, M.G. Lilienthal, K.S. Berbaum, D.R. Balt-zley and M.E. McCauley, Simulator sickness in U.S. Navy flight simulators, *Aviat Space Envir Md* **60** (1988), 10 − 16.
[16] D.R. Baltzley, R.S. Kennedy, K.S. Berbaum, M.G. Lilien-thal and D.W. Gower, The time course of postflight simulator sickness symptoms, *Aviat Space Envir Md* **60** (1989), 1043 − 1048.
[17] B.D. Lawson, Motion sickness symptomatology and origins. Handbook of virtual environments: Design, imple-mentation, and applications, 2nd Edition. New York, NY: CRC Press, an imprint of Taylor & Francis Group, LLC. (2014), 531 − 600.
[18] J.T. Reason, Motion sickness adaptation: A neural mis-match model, *J R Soc Med* **71** (1978), 819 − 829.
[19] J.F. Golding, Motion sickness susceptibility, *Auton Neurosci-Basic* **129** (2006), 67 − 76.
[20] C.M. Oman, Motion sickness: A synthesis and evaluation of the sensory conflict theory, *Can J Physiol Pharm* **68** (1990), 294 − 303.
[21] J.E. Bos and W. Bles, Modelling motion sickness and subjective vertical mismatch detailed for vertical motions, *Brain Res Bull* **47** (1998), 537 − 542.
[22] F.E. Guedry and A.J. Benson, Coriolis cross-coupling effects: disorienting and nauseogenic or not? *Aviat Space Envir Md* **49** (1978), 29 − 35.
[23] R. Kennedy, K. Stanney and W. Dunlap, Duration and exposure to virtual environments: Sickness curves dur-ing and across sessions, *Presence-Teleop Virt* **9** (2000), 463 − 472.
[24] B.J. Yates, A.D. Miller and J.B. Lucot, Physiological basis and pharmacology of motion sickness: An update, *Brain Res Bull* **47** (1998), 395 − 406.
[25] M. Treisman, Motion sickness: An evolutionary hypothe-sis, *Science* **197** (1977), 493 − 495.
[26] G.R. Morrow, The effect of a susceptibility to motion sick-ness on the side effects of cancer chemotherapy, *Cancer* **55** (1985), 2766 − 2770.
[27] J.F. Golding, Motion sickness, *Handb Clin Neurol* **137** (2016), 371 − 390.
[28] C.M. Oman, Are evolutionary hypotheses for motion sick-ness "just so" stories?, *J Vestib Res* **22** (2012), 117 − 127.
[29] D.B. Tyler and P. Bard, Motion sickness, *Physiol Rev* **29** (1949), 311 − 369.
[30] A. Graybiel, B. Clark and J.J. Zarriello, Observations on human subjects living in a "slow rotation room" for periods of two days, *Arch Neurol* **3** (1960), 55 − 73.
[31] E.F. Miller and A. Graybiel, A provocative test for grading susceptibility to motion sickness yielding a single numer-ical score, *Acta Otolaryngol Suppl* **274** (1970), 1 − 20.
[32] A. Graybiel, C.D. Wood, E.F. Miller and D.B. Cramer, Diagnostic criteria for grading the severity of acute motion sickness, *Aerosp Med* **39** (1968), 453 − 455.
[33] P.J. Gianaros, E.R. Muth, J.T. Mordkoff, M.E. Levine and R.M. Stern, A questionnaire for the assessment of the mul-tiple dimensions of motion sickness, *Aviat Space Envir Md* **72** (2001), 115 − 119.
[34] J.E. Bos, S.N. MacKinnon and A. Patterson, Motion sick-ness symptoms in a ship motion simulator: effects of inside, outside, and no view, *Aviat Space Envir Md* **76** (2005), 1111 − 1118.
[35] J.R. Lackner and A. Graybiel, Sudden emesis following parabolic flight maneuvers: implications for space motion sickness, *Aviat Space Envir Md* **57** (1986), 343 − 347.
[36] J.T. Reason and A. Graybiel, Changes in subjective esti-mates of well-being during the onset and remission of motion sickness symptomatology in the Slow Rotation Room, *Aerospace Med* **41** (1970), 166 − 171.
[37] J.F. Golding, A.C. Paillard, H. Normand, S. Besnard and P. Denise, Prevalence, predictors, and prevention of motion sickness in zero-g parabolic flights, *Aerosp Med Hum Perf* **88** (2017), 3 − 9.
[38] S.F. Wiker, R.S. Kennedy, M.E. McCauley and R.L. Pep-per, Susceptibility to seasickness: influence of hull design and steaming direction, *Aviat Space Envir Md* **50** (1979), 1046 − 1051.
[39] B.D. Lawson and A.M. Mead, The sopite syndrome revis-ited: Drowsiness and mood changes during real or apparent motion, *Acta Astronaut* **43** (1998), 181 − 192.
[40] B.D. Lawson, Motion sickness scaling. Handbook of virtual environments: Design, implementation, and appli-cations, 2nd Edition. New York, NY: CRC Press, an imprint of Taylor & Francis Group, LLC. (2014), 601 − 626.
[41] B.D. Lawson and B.E. Riecke, The perception of body motion, ed. Stanney K., Hale K., Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications, CRC Press, New York, NY., 2014, 163 − 196.
[42] A. Bisdorff, M. Von Brevern, T. Lempert and D.E. Newman-Toker, Classification of vestibular symptoms: towards an international classification of vestibular dis-orders, *J Vestib Res* **19** (2009), 1 − 13.
[43] B.D. Lawson, A.H. Rupert and B.J. McGrath, The neurovestibular challenges of astronauts and balance patients: some past countermeasures and two alternative approaches to elicitation, assessment and mitigation, *Front Sys Neurosci* **10** (2016), 1 − 12.
[44] B.S.K. Cheung, I.P. Howard, J.M. Nedzelski and J.P. Landolt, Circularvection about earth-horizontal axes in bilateral labyrinthine-defective subjects, *Acta Oto-laryngol* **108** (1989), 336 − 344.
[45] F. Murdin, F. Chamberlain, S. Cheema, Q. Arshad, M.A.

Gresty, J.F. Golding and A. Bronstein, Motion sickness in migraine and vestibular disorders, *J Neurol Neurosur Ps* **86** (2015), 585 – 587.

[46] Y.H. Cha, R.W. Baloh, C. Cho, M. Magnusson, J.-J. Song, M. Strupp, F. Wuyts and J.P. Staab, Mal de Debarquement Syndrome Diagnostic Criteria: Consensus Document of the Classification Committee of the Barany Society, *J Vestib Res* **30** (2020), 285 – 293.

[47] J.F. Golding, Motion sickness susceptibility questionnaire revised and its relationship to other forms of sickness, *Brain Res Bull* **47** (1998), 507 – 516.

[48] J.F. Golding, Predicting individual differences in motion sickness susceptibility by questionnaire, *Pers Indiv Differ* **41** (2006), 237 – 248.

[49] J.F. Golding and M. Kerguelen, A comparison of the nauseogenic potential of low-frequency vertical versus horizontal linear oscillation, *Aerosp Med Assoc* **63** (1992), 491 – 497.

[50] M.J. Griffin and M.M. Newman, Visual field effects on motion sickness in cars, *Aviat Space Envir Md* **75** (2004), 739 – 748.

[51] J.E. Bos, S.N. MacKinnon and A. Patterson, Motion sick-ness symptoms in a ship motion simulator: effects of inside, outside, and no view, *Aviat Space Envir Md* **76** (2005), 1111 – 1118.

[52] M.L. van Emmerik, S.C. de Vries and J.E. Bos, Internal and external fields of view affect cybersickness., *Displays* **32** (2011), 169 – 174.

[53] B. Keshavarz and H. Hecht, Validating an efficient method to quantify motion sickness, *Hum Factors* **53** (2011), 415 – 426.

[54] R.S. Kennedy, W.P. Dunlap and F. J.E., Chapter 11: Pre-diction of motion sickness susceptibility, G. H. Crampton, Boca Raton, FL., (1990), 179 – 215.

[55] S. Lamb and K.C. Kwok, MSSQ-Short norms may under-estimate highly susceptible individuals: Updating the MSSQ-short norms, *Hum Factors* **57** (2015), 622 – 633.

[56] B. Keshavarz, R. Ramkhalawansingh, B. Haycock, S. Sha-hab and J.L. Campos, Comparing simulator sickness in younger and older adults during simulated driving under different multisensory conditions, *Transport Res F-Traf* **54** (2018), 47 – 62.

[57] R.S. Kennedy and J.E. Fowlkes, Simulator sickness is polygenic and polysymptomatic: Implications for research, *Int J Aviat Psychol* **2** (1992), 23 – 38.

[58] J.F. Golding and M.A. Gresty, Pathophysiology and treat-ment of motion sickness, *Curr Opin Neurol* **28** (2015), 83 – 88.

[59] B. Keshavarz and H. Hecht, Pleasant music as a counter-measure against visually induced motion sickness, *Appl Ergon* **45** (2014), 521 – 527.

[60] F.D. Yen Pik Sang, J.F. Golding and M.A. Gresty, Sup-pression of sickness by controlled breathing during mildly nauseogenic motion, *Aviat Space Envir Md* **74** (2003), 998 – 1002.

[61] D.B. Mowrey and D.E. Clayson, Motion sickness, ginger, and psychophysics, *Lancet* **1** (1982), 655 – 657.

[62] H.C. Lien, W.M. Sun, Y.H. Chen, H. Kim, W. Hasler and C. Owyang, Effects of ginger on motion sickness and gastric slow-wave dysrhythmias induced by circular vection, *Am J Physiol-Gastr L* **284** (2003), G481 – 489.

[63] P.L. Palatty, R. Haniadka, B. Valder, R. Arora and M.S. Baliga, Ginger in the prevention of nausea and vomiting: a review, *Crit Rev Food Sci Nutr* **53** (2013), 659 – 669.

[64] A. Alkaissi, T. Ledin, L.M. Odkvist and S. Kalman, P6 acupressure increases tolerance to nauseogenic motion stimulation in women at high risk for PONV, *Can J Anaesth* **52** (2005), 703 – 709.

[65] K.E. Miller and E.R. Muth, Efficacy of acupressure and acustimulation bands for the prevention of motion sick-ness, *Aviat Space Envir Md* **75** (2004), 227 – 234.

[66] A. Brainard and C. Gresham, Prevention and treatment of motion sickness, *Am Fam Physician* **90** (2014), 41 – 46.

[67] A. Shupak and C.R. Gordon, Motion sickness: Advances in pathogenesis, prediction, prevention, and treatment, *Aviat Space Envir Md* **77** (2006), 1213 – 1223.

[68] O. Samuel and D. Tal, Airsickness: Etiology, treatment, and clinical importance-a review, *Mil Med* **180** (2015), 1135 – 1139.

[69] D.V. Sheehan, K. Harnett-Sheehan and B.A. Raj, The mea-surement of disability, *Int Clin Psychopharm* **11** (1996), 89 – 95.

[70] A.M. Bronstein, J.F. Golding, M.A. Gresty, M. Man-dalá, D. Nuti, A. Shetye and Y. Silove, Validation of the Social life & Work Impact of Dizziness questionnaire (SWID), *7th Meeting of the British Society of Neuro-Otology,* Leicester Tigers Rugby Stadium (2009).

[71] A.M. Bronstein, J.F. Golding, M.A. Gresty, M. Mandalá, D. Nuti, A. Shetye and Y. Silove, The Social Impact of Dizziness in London and Siena, *J Neurol* **257** (2010), 183 – 190.

[72] C.M. Reavley, J.F. Golding, L.F. Cherkas, T.D. Spector and A.J. MacGregor, Genetic influences on motion sickness susceptibility in adult women: A classical twin study, *Aviat Space Envir Md* **77** (2006), 1148 – 1152.

[73] I.F. Henriques, D.W. Douglas de Oliveira, F. Oliveira-Ferreira and P.M. Andrade, Motion sickness prevalence in school children, *Eur J Pediatr* **173** (2014), 1473 – 1482.

[74] B.S. Hromatka, J.Y. Tung, A.K. Kiefer, C.B. Do, D.A. Hinds and N. Eriksson, Genetic variants associated with motion sickness point to roles for inner ear development, neurological processes and glucose homeostasis, *Hum Mol Genet* **24** (2015), 2700 – 2708.

[75] M. Kluver, C. Herrigel, C. Heinrich, H. Schoner and H. Hecht, The behavioral validity of dual-task driving per-formance in fixed and moving base driving simulators, *Transport Res F-Traf* **37** (2016), 78 – 96.

[76] K.M. Stanney, R.S. Kennedy, J.M. Drexler and D.L. Harm, Motion sickness and proprioceptive aftereffects follow-ing virtual environment exposure, *Appl Ergon* **30** (1999), 27 – 38.

[77] S. Cobb, S. Nichols, A. Ramsey and J. Wilson, Virtual reality-induced symptoms and effects (VRISE), *Presence-Teleop Virt* (1999), 169 – 186.

[78] K. Stanney and G. Salvendy, Aftereffects and sense of presence in virtual environments: Formulation of a research and development agenda, *Int J Hum Comput Interact* **10**

(1998), 135 − 187.
[79] A.C. Paillard, G. Quarck, F. Paolino, P. Denise, M. Paolino, J.F. Golding and V. Ghulyan-Bedikian, Motion sickness susceptibility in healthy subjects and vestibular patients: Effects of gender, age and trait-anxiety, *J Vestib Res* **23** (2013), 203 − 209.
[80] J.O. Brooks, R.R. Goodenough, M.C. Crisler, N.D. Klein, R.L. Alley and B.L. Koon, Simulator sickness during driv-ing simulation studies, *Accident Anal Prev* **42** (2010), 788 − 796.
[81] N. Kawano, K. Iwamoto, K. Ebe, B. Aleksic, A. Noda and H. Umegaki, Slower adaptation to driving simulator and simulator sickness in older adults, *Aging Clin Exp Res* **24** (2012), 285 − 289.
[82] S. Klosterhalfen, S. Kellermann, F. Pan, U. Stockhorst, G. Hall and P. Enck, Effects of ethnicity and gender on motion sickness susceptibility, *Aviat Space Envir Md* (2005), 1051 − 1057.
[83] P.M. Gahlinger, Cabin location and the likelihood of motion sickness in cruise ship passengers, *J Travel Med* **7** (2000), 120 − 124.
[84] D.A. Marcus, J.M. Furman and C.D. Balaban, Motion sickness in migraine sufferers, *Expert Opin Pharmaco* **6** (2005), 2691 − 2697.
[85] A. Lawther and M.J. Griffin, A survey of the occurrence of motion sickness amongst passengers at sea, *Aviat Space Envir Md* **59** (1988), 399 − 406.
[86] M. Turner and M.J. Griffin, Motion sickness incidence during a round-the-world yacht race, *Aviat Space Envir Md* **66** (1995), 849 − 856.
[87] J.F. Golding, P. Kadzere and M.A. Gresty, Motion sickness susceptibility fluctuates through the menstrual cycle, *Aviat Space Envir Md* **76** (2005), 970 − 973.
[88] J.F. Golding and M.A. Gresty, Motion sickness, *Curr Opin Neurol* (2005), 29 − 34.
[89] R.L. Matchock, M.E. Levine, P.J. Gianaros and R.M. Stern, Susceptibility to nausea and motion sickness as a function of the menstrual cycle, *Womens Health Iss* **18** (2008), 328 − 335.
[90] K. Meissner, P. Enck, E.R. Muth, S. Kellermann and A. Klosterhalfen, Cortisol levels predict motion sickness tol-erance in women but not in men, *Physiol Behav* **97** (2009), 102 − 106.
[91] M.B. Flanagan, J.G. May and T.G. Dobie, Sex differences in tolerance to visually-induced motion sickness, *Aviat Space Envir Md* **76** (2005), 642 − 646.
[92] K.M. Stanney, K.S. Hale, I. Nahmens and R.S. Kennedy, What to expect from immersive virtual environment expo-sure: Influences of gender, body mass index, and past experience, *Hum Factors* **45** (2003), 504 − 520.
[93] S. D'Amour, J.E. Bos and B. Keshavarz, The efficacy of airflow and seat vibration on reducing visually induced motion sickness, *Exp Brain Res* **235** (2017), 2811 − 2820.
[94] D. Saredakis, A. Szpak, B. Birckhead, H.A.D. Keage, A. Rizzo and T. Loetscher, Factors Associated With Virtual Reality Sickness in Head-Mounted Displays: A System-atic Review and Meta-Analysis, *Front Hum Neurosci* **14** (2020), 96.
[95] K. Stanney, C. Fidopiastis and L. Foster, Virtual reality is sexist: but it does not have to be, *Frontiers in Robotics and AI* **7** (2020).
[96] H. Ujike, K. Ukai and K. Nihei, Survey on motion sickness-like symptoms provoked by viewing a video movie during junior high school class, *Displays* **29** (2008), 81 − 89.
[97] B. Keshavarz, A.C. Novak, L.J. Hettinger, T.A. Stoffre-gen and J.L. Campos, Passive restraint reduces visually induced motion sickness in older adults, *J Exp Psychol Appl* **23** (2017), 85 − 99.
[98] J. Bos, W. Bles and E. Groen, A theory on visually induced motion sickness, *Displays* **29** (2008), 47 − 57.
[99] R.M. Stern, S. Hu, S.H. Uijtdehaage, E.R. Muth, L.H. Xu and K.L. Koch, Asian hypersusceptibility to motion sickness, *Hum Hered* **46** (1996), 7 − 14.
[100] B.S. Cheung, K.E. Money and I. Jacobs, Motion sickness susceptibility and aerobic fitness: A longitudinal study, *Aviat Space Environ Med* **61** (1990), 201 − 204.
[101] N. Rawat, C.W. Connor, J.A. Jones, I.B. Kozlovskaya and P. Sullivan, The correlation between aerobic fitness and motion sickness susceptibility, *Aviat Space Envir Md* **73** (2002), 216 − 218.
[102] F.F. Mo, H.H. Qin, X.L. Wang, Z.L. Shen, Z. Xu and K.H. Wang, Acute hyperglycemia is related to gastroin-testinal symptoms in motion sickness: An experimental study, *Physiol Behav* **105** (2012), 394 − 401.
[103] A. Cuomo-Granston and P.D. Drummond, Migraine and motion sickness: What is the link?, *Prog Neurobiol* **91** (2010), 300 − 312.
[104] A.C. Paillard, G. Quarck, F. Paolino, P. Denise, M. Paolino, J.F. Golding and V. Ghulyan-Bedikian, Motion sickness susceptibility in healthy subjects and vestibular patients: effects of gender, age and trait-anxiety, *J Vestib Res* **23** (2013), 203 − 209.
[105] A. Kayan and J.D. Hood, Neuro-otological manifestations of migraine *Brain* **107** (1984), 1123 − 1142.
[106] P.D. Drummond, Motion sickness and migraine: Optoki-netic stimulation increases scalp tenderness, pain sensitivity in the fingers and photophobia, *Cephalalgia* **22** (2002), 117 − 124.
[107] J.M. Furman, D.A. Marcus and C.D. Balaban, Riza-triptan reduces vestibular-induced motion sickness in migraineurs. *J Headache Pain* **12** (2011), 81 − 88.
[108] D.A. Marcus and J.M. Furman, Prevention of motion sick-ness with rizatriptan: A double-blind, placebo-con-trolled pilot study, *Med Sci Monit* **12** (2006), PI1-7.
[109] J.M. Furman and D.A. Marcus, A pilot study of rizatriptan and visually-induced motion sickness in migraineurs, *Int J Med Sci* **6** (2009), 212 − 217.
[110] P.D. Drummond, Triggers of motion sickness in migraine sufferers, *Headache* **45** (2005), 653 − 656.
[111] W.H. Johnson, F.A. Sunahara and J.P. Landolt, Importance of the vestibular system in visually induced nausea and self-vection, *J Vestib Res* **9** (1999), 83 − 87.
[112] B.S. Cheung, I.P. Howard and K.E. Money, Visually-induced sickness in normal and bilaterally labyrinthine-defective subjects, *Aviat Space Envir Md* **62** (1991), 527 − 531.
[113] R.S. Kennedy, A. Graybiel, R.C. McDonough and F.D.

Beckwith, Symptomatology under storm conditions in the north atlantic in control subjects and in persons with bilat-eral labyrinthine defects, *Acta Otolaryngol* **66** (1968), 533 – 540.
[114] J.F. Golding and M. Patel, Meniere's, migraine, and motion sickness *Acta Otolaryngol* **137** (2017), 495 – 502.
[115] J.D. Sharon and T.E. Hullar, Motion sensitivity and caloric responsiveness in vestibular migraine and Meniere's dis-ease, *Laryngoscope* **124** (2014), 969 – 973.
[116] J.F. Golding, H.M. Markey and J.R. Stott, The effects of motion direction, body axis, and posture on motion sick-ness induced by low frequency linear oscillation, *Aviat Space Envir Md* **66** (1995), 1046 – 1051.
[117] S.H. Jeong, S.Y. Oh, H.J. Kim, J.W. Koh and J.S. Kim, Vestibular dysfunction in migraine: Effects of associ-ated vertigo and motion sickness, *J Neurol* **257** (2010), 905 – 912.
[118] M. Dai, T. Raphan and B. Cohen, Prolonged reduction of motion sickness sensitivity by visual-vestibular interac-tion, *Exp Brain Res* **210** (2011), 503 – 513.
[119] M.E. Hoffer, K.R. Gottshall, R.D. Kopke, P. Weisskopf, R.J. Moore, K.A. Allen and D. Wester, Vestibular testing abnormalities in individuals with motion sickness, *Otol Neurotol* **24** (2003), 633 – 636.
[120] G. Clément and M.F. Reschke, Relationship between motion sickness susceptibility and vestibulo-ocular reflex gain and phase, *J Vestib Res* **28** (2018), 295 – 304.
[121] A. Shupak, D. Kerem, C. Gordon, O. Spitzer, N. Mende-lowitz and Y. Melamed, Vestibulo-ocular reflex as a parameter of seasickness susceptibility, *Ann Otol Rhinolo Laryngol* **99** (1990), 131 – 136.
[122] D. Tal, D. Hershkovitz, G. Kaminski-Graif, G. Wiener, O. Samuel and A. Shupak, Vestibular evoked myogenic potentials and habituation to seasickness, *Clin Neurophys-iol* **124** (2013), 2445 – 2449.
[123] T.A. Stoffregen, Y.C. Chen and F.C. Koslucher, Motion control, motion sickness, and the postural dynamics of mobile devices *Exp Brain Res* **232** (2014), 1389 – 1397.